**OPĆENITO**

MC faza VTOL letjelice odvija se prilikom polijetanja, slijetanja te tranzicije VTOL-a. Kako bi VTOL uspješno izvršio tranziciju i postao FW odlučeno je da se, prije svega, MC faza VTOL-a mora dovesti u red i tunirati do zadovoljavajućih performansi. Također, odlučeno je da će se faza tranzicije početi testirati tek kada se MC faza dovede do zadovoljavajućih performansi.

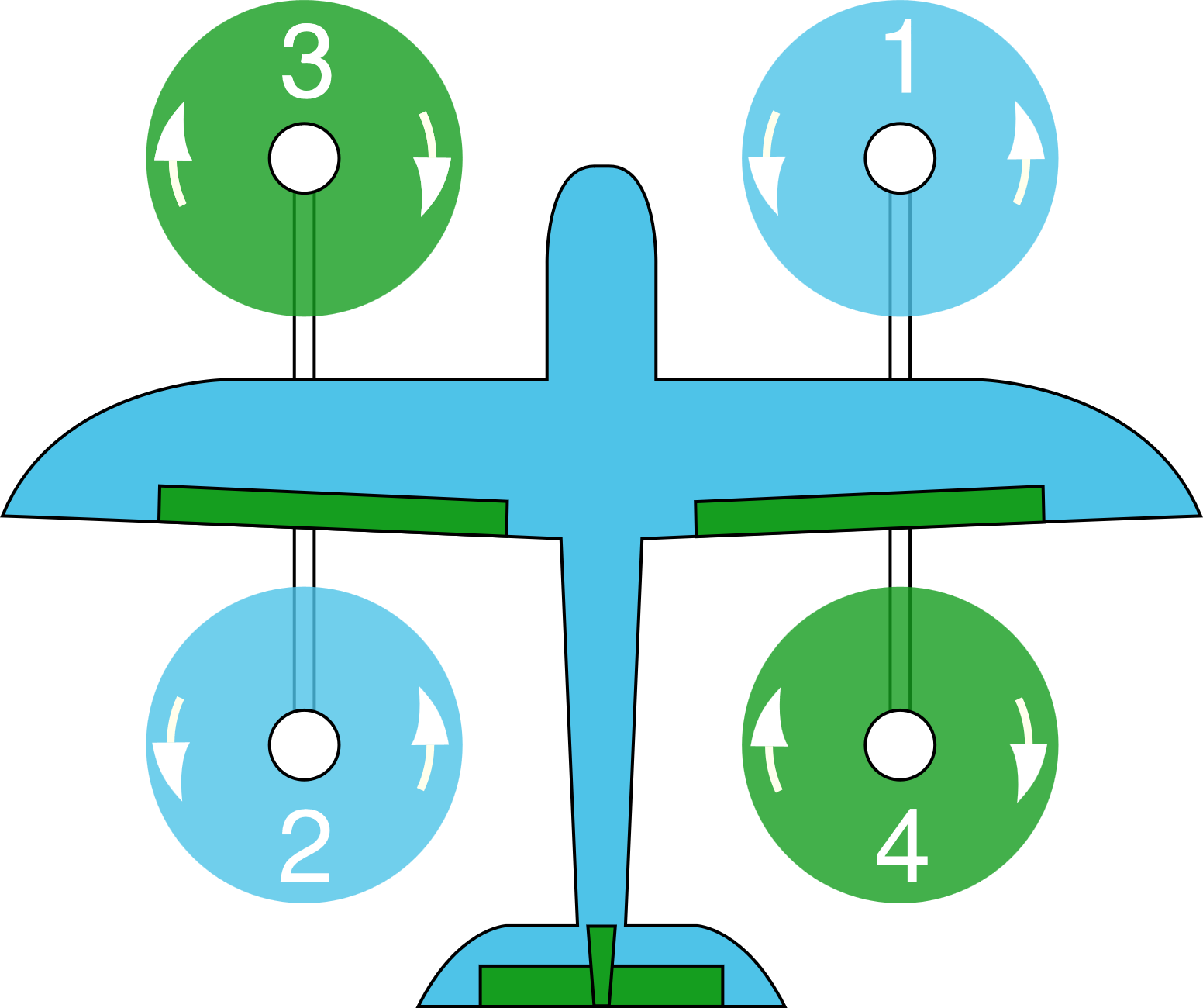
Kako bi VTOL letjelica mogla letjeti trebalo je odabrati prikladan autopilot te prigodni hardware za autopilot i letjelicu. Odlučeno je da se koristi CubePilot odnosno konkretno CubeOrange pločica ( <https://www.cubepilot.com/#/home> Slika 1), da se za autopilot koristi PX4 open source autopilot ( <https://px4.io/> ) te da se za zemaljsku kontrolnu stanicu za upravljanje VTOL-om koristi QgroundControl (<http://qgroundcontrol.com/> ). Odlučeno je koristiti prije navedene tehnologije zbog toga što su relativno jeftine (open source software i zemaljska kontrola), zato što je konfiguracija poprilično jednostavna i zato što dotične tehnologije podržavaju konfiguraciju za VTOL letjelicu.

A picture containing electronics

Description automatically generated

Slika : CubeOrange pločica

Konfiguracija za VTOL letjelicu već postoji u sklopu PX4 autopilota (<https://docs.px4.io/v1.12/en/airframes/airframe_reference.html#vtol>) te u sklopu QgroundaControl-a (odabrani airframe je: Generic quad delta VTOL  
Standard VTOL (13006) Slika 2). Na Slika 2 vidi se raspored vrtnji sva četiri motora koji služe za polijetanje i slijetanje, njihove oznake te aktuatori koji još služe za upravljanje VTOL-om (aileroni, elevatori, rudder te pogosnki peti motor). Popis portova kako se trebaju spojiti svi aktutori nalazi se na: <https://docs.px4.io/v1.12/en/airframes/airframe_reference.html#vtol> pod oznakom Generic quad delta VTOL.



Slika : Airframe generic delta VTOL

Prije početka letenja trebao se uploadati pripadni firmware na letjelicu. Firmwarei su vezani uz pojedine verzije softwarea sa PX4 githuba ( <https://github.com/PX4/PX4-Autopilot> ). Firmware koji se koristio je v1.13.0 (alpha) koji je u tom trenutku bio na master branchu na githubu. Zadnji stabilni realese firmwarea je v1.12 koji se u sitnicama razlikuje u odnosu na firmware v1.13. Odlučeno je da kada firmware vezan uz v1.13 postane stabilan (tj službeni release), da će se taj firmware tj ta verzija zaključati i koristiti za VTOL letjelicu.

VTOL konfiguracija sadrži parametre od MC i FW letjelica. S obzirom na to da je VTOL letjelica već obavila nekoliko letova u FW načinu upravljanja (gdje je doslovno poletila i sletila kao avion) odlučeno je odmah podesiti FW parametre unutar VTOL konfiguracije na parametre koji su se već znali. Ti su parametri bili: Tablica 1. Parametri se upisuju pomoću QGroundControl-a. Potrebno je spojiti CubeOrange pločicu na laptop koji ima instalirani QgroundControl te pričekati da Qground prepozna pločicu. Zatim se u gornjem lijevom uglu odabire Qground izbornik te zatim u novootvorenom prozoru odabiru se Vehicle settings te zatim u izborniku s lijeve strane odabiru se Parameters gdje se može, pomoću searcha, pronaći željeni parametar i upisati njegovu željenu vrijednost.

Tablica : inicijalni FW parametri za VTOL konfiguraciju

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ime parametra | Iznos | komentar |
| FW\_AIRSPD\_MAX | 30 m/s | maksimalna airspeed |
| FW\_AIRSPD\_MIN | 19 m/s | minimalna airspeed pri kojem VTOL u FW modeu može držati visinu tj izjednačiti uzgon sa silom težom |
| FW\_AIRSPD\_STALL | 17 m/s | brzina pri kojoj se gubi uzgon |
| FW\_AIRSPD\_TRIM | 22 m/s | optimalna airspeed (cruise speed) |
| FW\_GND\_SPD\_MIN | 7 m/s | minimalna brzina za polijetanje |
| FW\_MAN\_P\_MAX | 15 deg | Maksimalni kut pitchanja u stupnjevima u manual načinu rada |
| FW\_MAN\_R\_MAX | 55 deg | Maksimalni kut rolla u stupnjevima u ručnom načinu rada |
| FW\_PR\_FF | 0.15 | Feed forward gain vrijednost za pitch rate |
| FW\_RR\_FF | 0.15 | Feed forward gain za roll rate |
| FW\_RR\_P | 0.025 | Proparcionalni gain za roll rate |
| FW\_R\_RMAX | 50 deg/s | Maksimalni roll rate u deg/s |
| FW\_T\_CLMB\_MAX | 3 m/s | Maksimalni climb rate |
| FW\_T\_CLMB\_R\_SP | 2 m/s | Željeni climb rate |
| FW\_T\_PTCH\_DAMP | 0.2 | Faktor prigušenja za pitch |
| FW\_T\_SINK\_MIN | 1 m/s | Minimalna brzina spuštanja |
| FW\_T\_SPDWEIGHT | 0 | Odnos između brzine i visine u odnosu na pitch tj kome pitch daje veći prioritet (0 – daje se isključivo prioritet visini tj pitch se koristi isljučivo za održavanje brziine te se neće koristiti za ispravljanje brzine) |
| FW\_T\_STE\_R\_TC | 0.5 | Vremenska konstanta filtra prvog reda za specifičnu ukupnu energiju |
| FW\_T\_THR\_DAMP | 0.3 | Faktor prigušenja za pogosnki motor (throttle) |
| FW\_WR\_I | 0.2 | Pojačanje integratora za kotač |

Prije početka leta letjelica se mora kalibrirati tj moraju se kalibrirati njeni senzori. Senzori se kalibriraju prema uputstvima unutar QG Controla. Nakon što se pločica spoji sa QG Controlom odabire se QG izbornik te zatim Vehicle settings te zatim Sensors. Svi senzori koji su označeni crvenom bojom (slova su obojana u crveno) moraju se kalibrirati prema uputstvima koje daje QG Control.

Nakon što se letjelica kalibrira ona je spremna za letenje. Kako bi postajala veza između letjelice i QG Controla odnosno između između letjelice i operatora i VTOL-a mora postojati neka upravljačka stanica. Upravljačka stanica koja se koristi je Jeti te se može vidjeti na Slika 3. Kako bi se moglo upravljati letjelicom pomoću QG Controla mora se odrediti što koja palica tj što koji prekidač predstavlja na Jetiju.

A picture containing text, electronics, camera

Description automatically generated

Slika : Jeti upravljačka stanica

Osim komandi na jetiju treba se odrediti koji je prekidač kill switch, odnosno prekidač koji uklapanjem isključuje letjelicu neovisno jel ona u zraku ili na zemlji. Kill switch potreban je kao sigurnosni mehanizam za slučaj da se letjelica počinje ponašati nestabilno ili onako kako nije sigurno.

Nakon što se setupiraju komande na jetiju trebaju se setupirati i upravljački modeovi. Postoji više različitih upravljačkih modeova u sklopu PX4 te se oni nalaze na: <https://docs.px4.io/v1.12/en/flight_modes/> . Ti flight modeovi dijele se na MC i FW flight modeove te oni postoje i u VTOL konfiguraciji jer se VTOL sastoji od MC i FW dijela.

Flight modeovi dijele se na automatske i manualne modeove. Automatski modeovi su oni modeovi koji se koriste tijekom misije, odnosno kada nema nikakvog inputa od operatora drona nego samo od željene misije koja se može stvoriti pomoću primjerice QG Controla. Manualni modeovi su oni modeovi u kojima operator upravlja VTOL letjelicom. Postoje razni manualni flight modeovi, no oni koji su korišteni prilikom testiranja MC dijela su:

* Position mode
* Manual/stabilised mode

Ova dva modea korištena su jer se pomoću njih mogu tunirati PID regulatori koji se programatski nalaze u autopilotu.

Position (GPS) mode je flight mode u kojem regulator želi održavati MC letjelicu na istom mjestu te u vodoravnom položaju. Pomakom lijeve palice na jetiju prema lijevo odnosno desno uzrokuje promjenu reference položaja MC letjelice prema lijevo odnosno desno tj letjelica se počinje kretati lijevo tj desno uz održavanje iste visine. Kad se palica vrati u neutralni položaj to znači da MC ostaje u trenutnom položaju te mu je to novi refenrentni položaj. Ista stvar vrijedi za pomak lijeve palice naprijed odnosno nazad (VTOL se kao MC kreće prema naprijed odnosno nazad dok se palica ne vrati u neutralan položaj). Pomak desne palice u lijevo odnosno desno uzrokuje rotaciju (yaw) u lijevo tj desno, dok pomak palice naprijed odnosno nazad uzrokuje promjenu reference željene visine. Kad je palica prema naprijed povećava se referentna visina letjelice, kad je palica prema nazad smanjuje se referentna visina letjelice, a kada je palica u neutralnom položaju (tj sredini) onda letjelica održava tu željenu visinu.

Manual/Stabilised mode je flight mode u kojem regulator održava MC letjelicu u vodoravnom položaju. Razlika u odnosu na Position mode je ta što u ovom slučaju letjelica ne održava poziciju, nego samo vodoravnost, što znači da će, primjerice, udar vjetra 'odbaciti' MC letjelicu na neki novi položaj ali da će ona ostati vodoravna. Također prilikom mijenjanja položaja lijevo ili desno, letjelica ne održava visinu nego pada (da bi se održala visina treba se koristiti i desna palica). Također u ovom slučaju desna palica u neutralnom položaju gore dolje ne održava željenu visinu. Željenu visinu održava onaj postotak desne palice gore dolje pri kojem je uzgon jednak sili teži (konkretno za VTOL letjelicu bez utega taj postotak je oko 35%).

Iz svega ovoga može se zaključiti kako je stabilised mode teži za upravljanje, odnosno da zahtijeva veće znanje i stručnost operatera, dok je Positon mode jako lagan i intuitivan flight mode. Detaljnije upute o ovim flight modeovima mogu se naće na: <https://docs.px4.io/master/en/flight_modes/>

MC mode koristi se isključivo za polijetanje i slijetanje te prilikom tranzicije u FW mode odnosno prilikom povratka iz FW modea prem MC-u. Zbog toga za MC mode bitno je podesiti PID regulatore kako bi imali željeni odziv za polijetanje i slijetanje, odnosno da MC bude stabilan prilikom podizanja i spuštanja. Osim toga, bitnije je podesiti PID regulatore tako da u MC dijelu oni eliminiraju razne poremećaje u radnoj točki (primjerice nalet vjetra). VTOL konfiguracija nije zamišljena da se kreće u MC modeu što znači da se PID regulatori ne tuniraju za kretanje MC (tj za promjene reference brzine i pozicije) nego za eliminaciju vanjskih smetnji dok se podiže, spušta ili hovera na mjestu.

Testiranje MC dijela VTOL letjelice svodilo se na tuniranje programatski napravljenih PID regulatora unutar VTOL airframea u PX4. U početku, tuniranje VTOL-a provodilo se bez montiranih krila, nakon što su se dobili zadovoljavajući rezultati bez krila, montirala su se krila na VTOL te se ponovio proces tuniranja za letjelicu s krilima. Prije početka tuniranja VTOL-a bez krila proces tuniranja proveo se na malom 'običnom' MC-u. U trenutku kad je mali MC model bio zadovoljavajuće tuniran prešlo se na tuniranje VTOL-a bez krila te kad su njegove performanse bile zadovoljavajuće krenulo se dalje na tuniranje VTOL-a sa montianim krilima.

Proces tuniranja PID regulatora za MC dio VTOL-a proveden je pomoću PX4 uputa koje se nalaze na: <https://docs.px4.io/master/en/config_mc/> . Prvo se krenulo s tuniranjem pomoću basic tutoriala (<https://docs.px4.io/master/en/config_mc/pid_tuning_guide_multicopter_basic.html> ) te zatim pomoću advanced tutoriala ( <https://docs.px4.io/master/en/config_mc/pid_tuning_guide_multicopter.html> ). Upravljački dijagram je kaskadni te se njegova shema nalazi na: Slika 4. Sustav upravljanja, PID regulatori te njihov odnos, raspored i međuovisnost detaljno su opisani na: <https://docs.px4.io/master/en/flight_stack/controller_diagrams.html> .

Diagram

Description automatically generated

Slika : DIjagram sustava upravljanja

Izlasci na teren i letački dani vezani uz testiranje VTOL-a u MC modeu vezani su uz tuniranje regulatora sa Slika 4 koristeći upute sa linkova iz prethodnog paragrafa.

**PROCES TUNIRANJA PO LETAČKIM DANIMA**

Prije svega VTOL je tuniran kao FW letjelica, a tek u kasnijoj fazi kao MC letjelica.

Prvi letački dan kada je VTOL poletio kao MC letjelica bio je osmi letački dan odnosno 18.3.2022. Logovi od tog dana kao i od svih ostalih letačkih dana nalaze se u share folderu: \\sh1king.king-ict.corp\PlanetIX\VTOL\mVtol\Letovi\Skala model 70% .

Kao vježba za tuniranje MC dijela velike VTOL letjelice koristio se mali multicopter (tzv, 'mali quad') koji se nalazi u radioni.

* Osmi letački dan 18.3.2022.

Ovaj letački dan korišten je isključivo za probu da li konfiguracija VTOL-a unutar PX4 radi. Prva 4 loga opisuju probno testiranje, odnosno pokretanje logiranja, armanje i disarmanje letjelice na tlu. Zadnji log (log\_56) prikazuje let malog quada u VTOL konfiguraciji kao MC. Ovo je bio prvi pokušaj leta u MC modeu unutar VTOL konfiguracije. S obzirom na to da je bio prvi let, letjelo se primarno u Position (GPS) modeu te se pri kraju leta isprobao Stabilised mode. U ovom letu samo se hoveralo te pri kraju leta (u stabilised mode) letjelica se pomaknula nekoliko metara da se isproba ta funcionalnost. U ovom letu tj ovaj letački dan nije bilo tuniranja regulatora.

* Deveti letački dan 1.4.2022.

Ovaj dan je VTOL letjelica poletjela kao MC ali bez krila. Snimke ovih letova nalaze se u: [\\PIXNAS\PIX\_data\VTOL snimke\Skala model VTOL\01\_04\_2022](file:///\\PIXNAS\PIX_data\VTOL%20snimke\Skala%20model%20VTOL\01_04_2022) (mora se biti na wifi tj ne na king mreži da se pristupi ovom folderu).

U Prvom i drugom letu (log\_20 i log\_21) letjelo se u stabilised modeu nekoliko desetaka metara uzduž piste. Razlika između prvog i drugog leta je ta što se u prvom letu koristio mali quad, dok se u drugom letu letjelo sa VTOLom bez krila. Prilikom prvog i drugog leta testirale su se funkcionalnosti Stabilised flight modea (funkcionalnosti su napisane u prethodnom poglavlju i na gore napisanom linku).

U trećem i četvrtom letu (log\_22 i log\_23) letjelo se u position modeu kako bi se testirale prethodno navedene position mode funkcionalnosti. Razlika između trećeg i četvrtog leta je ta što se u trećem letu koristion mali quad, a u četvrtom VTOL bez krila. Nije bilo tuniranja regulatora.

Peti i šesti let (log\_24, log\_25) letio je VTOL bez krila u stabilised modeu. U ovim letovima počeli su se tunirati regulatori prema uputama koje se nalaze na linku navedenom u prethodnom poglavlju. Regulatori su se tunirali na način da su tijekom leta promijenjeni jedan ili više parametara te se vizualno određivalo i uspoređivalo je li ponašanje letjelice bilo bolje prije ili nakon promjene parametara. Ako se flight logovi otvore pomoću linka: <https://logs.px4.io/> može se točno vidjeti u kojem trenutku dolazi do promjene kojeg parametra (označeni pri vrhu plotova ovisnih o vremenu na trenutku kad se parametar zaista promijenio). U petom letu promijenjen je parametar MC\_ROLLRATE\_D := 0.0024 (sa 0.003) iz razloga što se pretpostavljalo da D komponenta roll ratea previše utječe na vibracije letjelice. Nije uočena neka pretjerana promjena u ponašanju letjelice nakon promjene parametra. Iz tog razloga za sljedeći let taj parametar postavljen je na nešto manju vrijednost od defaultne (MC\_ROLLRATE\_D := 0.0028). U šestom letu mijenjao se parametar MC\_YAWRATE\_K odnosno proporcionalno pojačanje kutne brzine vrtnje. Ovaj parametar također se mijenjao sve dok vizualnim utvrđivanjem nije određeno da je reakcija na yaw rate zadovoljavajuća. Na kraju je određen MC\_YAWRATE\_K := 1.9.

* Deseti letački dan 6.4.2022.

U ovom danu nastavljalo se tunirati regulatore prema navedenim uputama. Regulatori su se tunirali u Position modeu.

U prvom letu (log\_0) VTOL letjelica ušla je u nestabilno ponašanje zbog promjene parametara regulatora prije početka leta. Zaključeno je da se to dogodilo zbog promjene pojačanja na proporcionalnom dijelu pitch rate regulatora te je on nakon leta vraćen na prijašnju vrijednost.

U drugom letu (log\_2) provjeralo se ponašanje letjelice sa starim parametrima regulatora te je let na kraju bio stabilan što se i očekivalo. U ovom letu proučeni su utjecaji promjene parametara vezani uz orijentaciju pločice, no zaključeno je kako se ti parametri automatski odrede prilikom kalibracije pa ne postoji potreba za njihovim mijenjanjem.

U trećem letu (log\_5) nastavilo se s tuniranjem regulatora. Tunirali su se parametri vezani uz pitch i pitchrate odnosno: MC\_PITCHRATE\_K, MC\_PITCH\_RATE\_D, MC\_PITCHRATE\_I te MC\_PITCH\_P. Oni su se mijenjali sve dok se nije dobilo zadovoljavajuće ponašanje po pitchu odnosno dok letjelica nije morala sletiti zbog postotka baterije. Također ovaj su dan spremljeni parametri i stavljeni u share folder gdje se nalaze i logovi. Ovi parametri su karakterizirani kao 'OK parametri' te su se koristili u slučaju kad bi prilikom tuniranja došlo do kombinacije parametara pri kojoj bi ponašanje bilo loše ili nestabilno.

* Jedanaesti letački dan 7.4.2022.

Nastavilo se sa tuniranjem regulatora kako bi se dobili još bolji parametri odnosno kako bi letjelica bila još bolje tunirana. S obzirom na upute za tuniranje sljedeći letovi koristili su Stabilised flight mode jer se u njemu trebaju tunirati rate regulatori.

U prvom letu (log\_7) tunirali su se svi parametri vezani uz pitch regulatore jer se smatralo da je pitch najkritičniji od svih drugih pomaka. Nakon što se pitch relativno istunirao došlo je do zaključka kako su reakcije letjelice preagresivne, odnosno da previše agresivno reagira na promjene reference i poremećaje.

U drugom i trećem letu (log\_8, log\_9) mijenjali su se parametri zasićenja brzine akceleracije i jerka koji onemogućavaju letjelici da preagresivno reagira na promjene refenrence ili na poremećaj. Ovi parametri mijenjali su se u Position modeu jer je taj mode najviše 'automatski' od dva korištena manualna modea. Time smo donekle htjeli simulirati slučaj kada će VTOL letjeli automatski tj bez operatora.

U četvrtom i petom letu (log\_11 i log\_13) ponovo su se išli tunirati parametri regulatora, ali sada uz nova zasićenja tj limite na brzine, akceleracije i rotacije. Ponovo se krenulo tunirati iz stabilised modea kako je navedeno u uputama. Krenulo se sa tuniranjem po pitch rateu (MC\_PITCHRATE\_K, MC\_PITCHRATE\_I, MC\_PITCHRATE\_D) kako bi dobili željeno ponašanje odziva promjene pitcha. Nakon što se dobilo približno željeno ponašanje po pitch rateu, krenulo se na tuniranje roll ratea. Tuniranje roll ratea nije predstavljalo izazov kao što je predstavljalo tuniranje po pitchu.

Na kraju dana skinuti su svi konfigurirani parametri s letjelice i stavljeni na share folder kako bismo imali parametre koji su bolji od prethodnog dana za back up.

* Dvanaesti letački dan 11.4.2022

Nastavak tuniranja regulatora.

U prvom letu (log\_14) krenulo se sa tuniranjem yaw komponente regulatora odnosno MC\_YAW\_P.

U drugom letu (log\_15) uključila se opcija okretanja u vjetar (WV\_EN := 1) te se testirala njena funkcionalnost. Uz ovu funkcionalnost PX4 estimira smjer vjetra prema tome u koju stranu se rotira letjelica uspoređujući brzinu vrtnju pojedinog od 4 MC motora. Odnosno ako se šalju komande da MC stoji na mjestu tj ne rotira, a MC se zarotira u lijevu stranu znači da vjetar dolazi s desne bočne strane, stoga regulator ispravlja letjelicu prema desno (daje komandu za yaw udesno sve dok više ne bude poremećaja od vjetra). MC (tj VTOL) je usmjeren u vjetar kada gleda nosom u vjetar jer tada letjelica ne osjeća bočni poremećaj. Ova će se funkcionalnost uključiti na kraju u finalnu letjelicu, no prilikom testiranja nije nam od pomoći jer regulator mijenja manualne inpute (što se u konkretnom trenutku ne zna) što nam može dati krivu interpretaciju rezultata. Uočeno je da funkcionalnost radi kako se od nje i očekuje.

U trećem letu (log\_16) testiralo se u position modeu. Testiralo se kretanje VTOLa u MC fazi prema lijevo i desno odnosno naprijed i nazad kako bi se snimilo što više prijelaznih pojava koje bi se mogle analizirati pomoću PID analize.

Nakon proučavanja prijelaznih pojava u trećem letu, u četvrtom letu (log\_17) krenulo se na još finije tuniranje regulatora. Tunirali su se roll i pitch rate D komponente jer se smatralo da D član uzrokuje previše vibracija u sustavu. Također isključeno je okretanje u vjetar radi lakše analize.

U petom letu (log\_22) samo se hoveralo da se prouči utjecaj novih parametara regulatora tokom jednog leta.

* Trinaesti dan 12.4.2022.

U prvom letu (log\_24) VTOL je letio bez krila te su mu davane komande za roll i pitch da se validira da li sve radi ok.

U drugom letu (log\_25) stavljaju se krila te se ponavljaju osnovne komande za roll i pitch kako bi se validirali rezultati. U ovom letu uočavaju se vibracije po rollu na 20 Hz (očito stavljanje krila nekako uzrokuje vibracije od 20 Hz)

U trećem letu (log\_28) stavljaju se limiti na maksimalne akceleracije i maksimalnu brzinu uz pretpostavku da će to smanjiti vibracije po rollu. Ta se pretpostavka nije pokazala točnom jer su se vibracije po rollu nastavile. Također ponašanje letjelice bilo je lošije pa je odlučeno da se svi parametri vrate na onakve kakvi su bili

U četvrtom letu (log\_29) vraćeni su parametri na one iz drugog leta no ponašanje je ostalo loše.

U shareanom folderu nalaze parametri uz koje su izražene vibracije na prednjem desnom krilu.

* Četrnaesti letački dan 20.4.2022.

Prvi let (log\_1) izveden je bez krila radi tuniranja parametara regulatora kako bi bili sigurni da bi VTOL bio siguran kada leti u MC fazi sa krilima. Tunirani su roll rate i pitch rate komponente regulatora prema uputama za tuniranje regulatora

U drugom, trećem i četvrtom (log\_2, log\_3, log\_4) letu stavljena su krila na VTOL letjelicu te je letjela u MC fazi. Također u ovom letu tunirali su se roll rate i pitch rate regulatori. Uočeno je kako je u ovome letu bilo jako puno vibracija uz pretpostavku da je D komponenta prevelika pa se primarno D komponenta i tunirala. Najviše vibracija uočeno je kod roll komponente (opet pretpostavka zbog stavljanja krila i aerodinamike). U Oba leta VTOL je bio u MC modeu te se kretao lijevo i desno (tj po rollu) te naprijed nazad (tj po pitchu). U trećem te kasnije i četvrtom letu uočeno je smanjenje vibracija.

U petom letu (log\_5) testirao se utjecaj novih parametara regulatora u stabilised načinu leta. Uočeno je da se vibracije iz četvrtog leta i vibracije iz petog leta ne razlikuju odnosno da flight modeovi ne utječu na vibracije. Također prilikom ovog leta dodatno su se sitno tunirali parametri regulatora (konkretno I komponente kako bi se dodatno uklonile vibracije). Nakon ovog leta bili smo zadovoljni s ponašanjem VTOL-a i količinom vibracija.

U šestom letu (log\_6) tunirao se nadređeni pitch regulator (MC\_PITCH\_P), koji je u upravljačkoj strukturi nadređen pitch rate regulatorima. Uočeno je da se prilikom tuniranja pitch regulatora ponašanje po yawu izričito pogoršalo. Trebalo je uočiti kako su povezani pitch regulator te ponašanje po yawu. Također uočava se da MC motori jako često dolaze do nižeg limita rada (najmanji pwm na kojem se mogu vrtiti) što se također razmatrao kao jedan od razloga lošeg upravljanja po yawu (predloženo rješenje je da se VTOL oteža).

* Petnaesti letački dan 21.4.2022.

U prvom letu (log\_7) VTOL je letio bez krila kako bi provjerili je li sve u redu (je li kalibracija ok prošla, je li se nešto drugo zblesiralo). U prvom letu tj letu provjere sve je prošlo ok.

U drugom letu (log\_8) VTOL je također bio bez krila, ali ovaj put se pomicao lijevo desno tj naprijed nazad (tj po rollu i po pitchu). I u ovom letu sve je bilo u redu.

U trećem letu (log\_0) na VTOL stavljena su krila. Provjeravale su se komande rollanja i pitchanja u stabilised flight modeu (prvo po rollu zatim po pitchu).

U četvrtom letu (log\_3) koristio se position mode te se kretalo uzduž piste. U ovom letu ograničavali su se limiti maksimalne brzine i akceleracije. Ponašanje i vibracije bile su ok te su ostavljeni odabrani parametri sa kraja leta.

U Petom letu (log\_5) letjelo se u position modeu uzduž piste kako bi se provjerilo da li uz sve nove tj promijenjene parametre je sve ok. Iz leta sve se činilo u redu osim pri promjeni yawa. U trenutnku promjene yawa VTOL se malo unestabilio. Taj problem se trebao rješiti na nekom budućem letu.

* Šesnaesti letački dan 26.4.2022.

Ovo je bio prvi dan i prvi let ikada da se išla raditi tranzicija iz MC-a u FW. Smatrali smo da je VTOL zadovoljavajuće reguliran te da možemo započeti tranziciju. Video ovog leta i tranzicije može se vidjeti u PIXNAS share folderu: \\PIXNAS\PIX\_data\VTOL snimke\Skala model VTOL\26-04-2022 (mora se ručno kopirat link u file explorer kad smo na wifiju). Također u share folderu (kada smo spojeni na king mrežu tj nismo na wifiju): \\sh1king.king-ict.corp\PlanetIX\VTOL\mVtol\Letovi\Skala model 70%\16. letački dan - 26.4.22 nalazi se datoteka s komentarom koji je firmware flashan. Također u tom folderu nalaze se parametri koji su korišteni za let s tranzicijom. Za vrijeme tranzicije, prilikom gašenja MC motora (tj kad FW u potpunosti preuzima) VTOL se naglo nagnuo prema gore zbog čega je ušao u stall i izgubio uzgon, srećom brzo se oporavio od tog stala. To se također vidi u grafovima iz loga ako se promatra graf za pitch. Željeni pitch ne postiže se pa prilikom gašenje MC motora sve ode na loše. Tranzicija vizualno, a ni grafički iz logova (log\_36) nije izgledala lijepo. Zbog toga je tokom leta u FW modeu zaključeno da se ide na slijetanje kao da je FW odnsono da se ne radi tranzicija u nazad (jer smo mislili da će tako 'normalno' sletiti bez da se strga dok smo mislili da će se u back transition skroz strgati). Što se tiče FW dijela zaključeno je da se ne ponaša dobro kao prije kad je letio isključivo kao FW te je zaključeno da se i FW faza mora tunirati. Također uočeno je da su prednji motori puno 'slabiji' od stražnji motora (za vrijeme zaleta u FW) tj da razvijaju manje pwm-a. Drugačije gledano prednji motori došli su do svog najnižeg limita pwm-a.

* Sedamnaesti letački dan 29.4.2022.

U prvom letu (log\_40) testiralo se samo hoveranje da se prouči je li sve u redu za sljedeći let u kojem se testirala mision faza.

U drugom letu (log\_41) testirali su se automatski modeovi: take off i landing. Uklapanjem prekidača na jetiju VTOL je dobio naredbu za mision mode tj da se prebaci u take off mode. Kada je postignuta željena visina VTOL se prebacion u position mode, da bi se na kraju opet prebacio u mision tj automatski mode koji trigera landing flight mode. Take off i landing mode detaljno su objašnjeni u user dokumentaciji na sljedećem linku: <https://docs.px4.io/master/en/flight_modes/takeoff.html> i <https://docs.px4.io/master/en/flight_modes/land.html> . VTOL je jako zadovoljavajuće obavio automatsko polijetanje i slijetanje.

U trećem letu (log\_42) odlučeno je da se isproba ful automatsko polijetanje i slijetanje. U ovom letu napravljena je misija da VTOL poleti, ide ravno uzduž piste te se vrati natrag i sleti. Odnosno ovaj let je bio ful automatski bez ikakvog inputa operatora (nema tranzicije samo MC faza). VTOL je i ovaj let odradio zadovoljavajuće te su rezultati ispali vrlo dobri.

U četvrtom letu odlučeno je da VTOL treba napraviti misiju koja se sastoji od polijetanja, slijeđenja zadane rute kao FW te slijetanja tj da se treba automatski napraviti front i back tranzicija (iz MC u FW te iz FW u MC). VTOL je obavio ovu misiju. Ovo je prvi put da se napravila back tranzicija. Kao i front tranzicija i back tranzicija se pokazala izrazito lošom. Prillikom back tranzicije VTOL je propao za desetak metara što nije zadovoljavajuće ponašanje. Video ovog leta nalazi u share folderu na wifiju: \\PIXNAS\PIX\_data\VTOL snimke\Skala model VTOL\29-04-2022 . VTOL je ostao u čitavom komadu jer se popravio i automatski sletio, no front i back tranzicija nisu bile zadovoljavajuće. Zaključak je da je problem u lošim tranzicijama zato što je loše tuniran. Također razmatrala se opcija da su tranzicije loše zbog aerodinamike i konstrukcije letjelice (odnosno blizine MC motora krilima VTOLa). U ovom letu također je uočeno kako prednji motori prilikom leta prema naprijed (ubrzavanje za tranziciju u fw) dolaze do svog minimanog limita pwm-a.

* Osmanaesti letački dan 2.5.2022.

U ovom letačkom danu bio je samo jedan let jer se prilikom prvog leta VTOL razbio. U ovome letu napravljena je ručna front tranzicija dok je VTOL bio u position modeu. VTOL je također propao za 20ak metara prilikom front tranzicije. Log ovog leta (log\_47) je loše snimljen te ne pokazuje precizne rezultate (konkretno za roll i pitch koji su nam relevantni za tranziciju). U jednom trenutku leta VTOL samostalno prelazi u loiter flight mode (tj kruženje oko iste točke kao FW) što je bilo neočekivano ponašanje. Ne zna se iz kojeg je točno razloga VTOL automatski promijenio svoj flight mode u loiter. Zbog toga Balaško ručno prebacuje VTOL u FW modeu u Manual mode što uzrokuje okretanje VTOL-a na ledja što se smatralo neočekivano i opasno ponašanje. Zbog toga ga je Balaško zabio u zemlju prilikom leta na ledjima jer se nije znalo kako će se dalje ponašati niti je li moguće kroz neki flight mode prebaciti ga sa ledja na trbuh. Zaključak ovog leta je da se VTOL nekontrolirano ponašao (jer je sam od sebe prešao u loiter način leta). Zbog toga je odlučeno da se do daljnjeg neće raditi tranzicija u FW dok se MC dio VTOL-a ne dovede do savršenstva. Nakon ovog leta odlučeno je da se definitivno treba zvati Cvišića da nam pomogne prilikom tuniranja regulatora odnosno dovođenja VTOL-a u red. I ovaj put su prednji motori MC dijela bili u nižem zasićenju. Jedna od pretpostavki zašto je to tako je zbog aerodinamike. Pretpostavlja se da prednje krilo prilikom zaletavanja daje puno veći uzgon od stražnjeg krila. Zbog toga prednji motori padaju na 'nulu' dok stražnji rade (da se VTOL ne pitcha prema gore nego da ostane ravan). Odnosno pretpostavja se kako stražnje krilo uopće 'ne radi' zbog strujanja od stražnjih propelera što je problem.

Nakon 18. letačkog dana odlučeno je da se proces testiranja i praćenja tokom testnih letova treba upgradedati. Odlučeno je da će se postaviti strujni senzori na dva MC motora na VTOL-u kako bi se vidjelo da li stražnji motori razvijaju ikakav moment prilikom zaleta (odnosno da se vidi da li stražnje krilo 'radi' ili 'ne radi'). Također odlučeno je puno ekstenzivnije logirati i komentirati sve stavke leta kako bi imali što više informacija nakon leta pri analizi. Također odlučeno je da ako se mijenjaju neki parametri da se mijenja jedan po svakom letu kako bismo imali nezavisnu eventualnu promjenu u ponašanju letjelice.

* Devetnaesti letački dan 13.5.2022.

Odlučeno je ekstenzivnije komentirati i logirati podatke tokom leta kako bi imali što više podataka i informacija za naknadnu analizu. Pojedinačni komentari na letove nalaze u share folderu: \\sh1king.king-ict.corp\PlanetIX\VTOL\mVtol\Letovi\Skala model 70%\19. letački dan - 13.5.22 .

U prvom letu (log\_38) VTOL je samo hoverao u position modeu bez krila kako bi se provjerilo je li sve u redu nakon što je ponovo sastavljen nakon velikog pada prošlog letačkog dana. Također za kretanje prema naprijed bila je uključena opcija da se kreće stražnjim motorom (a ne pitchanjem prema naprijed). Osim za validaciju je li sve u redu sa novosastavljenim VTOL-om u ovom letu se provjeravalo da li motori proizvode moment odnosno mjerila se struja na dva motora. U ovom letu dva ampermetra stavljena su na dva motora s iste strane letjelice (par 2 i 3, odnosno 1 i 4 prema Slika 2, odnosno parovi 1 i 2 te 0 i 3 prema plotanim grafovima). Mjerenja struje tj grafovi nalaze se u zasebnom folderu 'jeti logs' unutar iznad navedenog foldera. Jeti logovi mogu se otvoriti pomoću 'JETI STUDIO' programa (<https://www.jetimodel.com/support/> ). Iz logova struje zaključeno je da se iz ove konfiguracije strujnih senzora ne dobiva previše informacija.

U drugom letu (log\_39) strujni senzori prespajaju se u križ tako da budu na paru motora koji rade skupa za yaw moment (parovi 0 i 1 te 2 i 3 prema grafovima) te se ponavlja let (VTOL bez krila ali sa aktivnim stražnjim motorom za kretanje naprijed). Za vrijeme ovog leta jeti nije logirao struju tako da se ovaj let trebao ponoviti.

U trećem letu (log\_40) bila je ista konfiguracija VTOL-a kao u prethodnom letu samo što je povećana maksimalna horizontalna brzina koju VTOL može postići u MC konfiguraciji. Konkretno promijenjen je parametar MPC\_VEL\_MANUAL na 15. Nažalost u ovom letu odspojila se stražnja elisa tako da je let bilo potrebno ponoviti.

U četvrtom letu (log\_41) bila je ista konfiguracija kao i prije, VTOL bez krila i sa stražnjim pogonskim motorom) te je jeti snimao odzive ampermetara cijelo vrijeme. VTOL je letio uzduž piste (niz i uz vjetar) te je pri kraju leta malo hoverao. Provjerom jeti strujnih logova uočeno je da stražnji motor razvija nešto više struje od prednjeg motora, ali to je zanemariva razlika.

U petom letu (log\_42) na VTOL stavljaju se krila dok ostaju strujni senzori te se ponavlja zaletavanje uzduž piste (uz i niz vjetar) kako bi se proučio utjecaj krila na aerodinamiku i rad MC motora. Prilikom ovog leta uočeno je da struja u prednjem motoru prilikom zaletavanja pada skroz na nulu (ne stvara moment uopće) dok struja stražnjeg motora ostaje na nekom iznosu tj da stvara moment. Iz toga je zaključeno da prednja krila stvaraju preveliki uzgon te da zbog toga VTOL tokom tranzicije želi dići nos gore, ali mu regulator ne da. Zbog toga se regulator zasiti (komandom prema dolje) i pretpostavja se da dolazi do propadanja prilikom tranzicije u FW fazu. Prilikom kočenja iz zaleta prema naprijed VTOL postaje jako nestabilan i počinje oscilirati što je vjerojatno rezultat lošeg tuniranja regulatora. Na svu sreću MC motori ga uspijevaju na vrijeme isspraviti da ne padne.

Iz ovog leta i letačkog dana izašlo je nekoliko potencijalnih rješenja problema:

* Opteretiti VTOL sa njegovom nazivnom masom
* Ukloniti prednje krilo ili smanjiti ga ili smanjiti napadni kut
* Pomaknuti MC motore više prema dnu (kako protok zraka ne bi spriječavalo stražnje krilo da radi uzgon tj pretpostavka da stražnje krilo uopće ne radi)
* Smanjiti promjer prednjih elisa
* Zakrenuti MC motore pod nekim kutem
* Kombinacija gore navedenih prijedloga

Ono što se odmah odabralo kao potencijalno rješenje je spuštanje MC motora na nižu razinu u odnosu na krila jer će na stvarnom VTOLu (ne prototipu) MC motori biti niže pa se ta opcija odabrala kao početna.

* Dvadeseti letački dan 17.5.2022

Prije dolaska na teren MC motori spušteni su na nižu razinu kako bi se potencijalno eleiminirao problem zašto stražnje krilo ne stvara uzgon.

U prvom letu (log\_20) VTOL nije imao krila. U ovom letu provjeravao se utjecaj promjene lokacije tj visine motora na VTOL-u. Uočeno je nešto bolje ponašanje (činio se stabilniji), nego kad je letio bez krila, a motori su bili više pozicionirani.

U drugom letu (log\_19) na VTOL stavljena su krila. I u ovome letu radi se zalet uz i niz vjetar te zaustavljanje nakon zaleta kao i onaj letački dan kad su motori bili više pozicionirani. I u ovom letu uočeno je nestabilno ponašanje prilikom zaustavljanja (tj kotrljanje po rollu i po pitchu i sve i svašta). Na flight logovima točno se vidi kako VTOL postaje nestabilan po rollu i po pitchu prilikom kočenja (roll i pitch su na peakovima). Također prilikom ovog leta VTOL je ušao u 'return to land' flight mode iz nekog razloga. Taj razlog nije otkriven te se još treba skužiti zašto je u određenom trenutku ušao u return to land opciju). Također uočeno je opet kako prednji motori ne stvaraju moment (struja pada na nulu prilikom zaletavanja). Proučavanjem grafova vibracija uočeno je da su se vibracije od 20Hz (koje su prije bile jako izražene) jako smanjile. Zaključak je da se pomicanjem MC motora više dolje smanjuju vibracije koje su posljedica stavljanja krila.

U trećem letu (log\_20\_14\_55) miče se prednje krilo te VTOL leti samo sa stražnjim krilom kako bi se vidio utjecaj prednjeg krila na aerodinamiku. Prilikom početka leta pao je poklopac od baterija pa se let morao brzo zaustaviti

U četvrtom letu (log\_21) je ista konfiguracija kao u prethodnom. Uočeno je da se VTOL puno bolje ponaša kada nema prednje krilo. Uočeno je da su struje prednjeg i stražnjeg motara slične. U ovom slučaju prednji motori također kao i stražnji stvaraju moment (zbog toga je i bolje ponašanje).

U petom letu (log\_22) leti u istoj konfiguraciji kao i prije (tj bez prednjeg krila). Ovaj let je zbog postotka baterije bio duži od četvrtog leta, ali u istoj konfiguraciji. Opet se testiralo zaletavanje uz i niz vjetar. U ovom letu opet se aktivirao 'return to land' te još uvijek ostaje misterija zašto se to pali u nekom trenutku.

* Dvadesetiprvi letački dan 18.5.2022. jako je puhalo

U prvom letu (log\_0) VTOL je bio bez krila, ali bio je opterećen s utezima tako da mu cijela masa iznosi 11.2 kg. VTOL se opteretio dodatnom masom jer se pretpostavljalo da onda MC motori neće doći u donje zasićenje. VTOL je išao uz vjetar, ali se natrag vraćao u rikverc (tj nije se zarotirao za 180). Opet se u letu uključio return to land u jednom trenutku. U ovom letu se provjeravalo, s obzirom na to da je puhao jak vjetar, je li sve u redu s VTOL-om kad ima puno vjetra.

U drugom letu (log\_1) VTOL je imao istu konfiguraciju i masu (bez krila s utezima). Kako bi izbjegli probleme zbog automatskog prebacivanja u 'return to land' promijenjeni su parametri osjetljivosti. Točnije promijenjeni su parametri koji određuju koliki postotak promjene palice od operatora uzrokuje automatsko switchanje u 'position' mode. Odlučeno je da ful mali pomak palice (5%) od operatora uzrokuje vraćanje u position tj neautomatski flight mode. U jednom trenutku tokom leta VTOL se prebacio u return to land, no isto tako praktički se istovremeno prebacio natrag u position mode, tako da je postavljanje tolerancije na palicu bila uspješna ideja.

U trećem letu (log\_2) na VTOL stavljaju se krila (prednje i stražnje) te se masa korigira tako da ima ukupno 11.5 kg. Ovaj let je bio čisto hoveranje s krilima kako bi se vidjelo kako jak vjetar utječe na VTOL kada ima krila. Ponašanje prilikom hoveranja bilo je skroz u redu te je odlučeno da se u sljedećem letu VTOL ide zaletiti uz vjetar.

U četvrtom letu (log\_4) otežani VTOL sa krilima letio je kao MC uz vjetar, a nazad se vraćao u rikverc. Pokazao je relativno dobro ponašanje s time da nije bilo naglih komandi prema naprijed odnosno kočenja.

U petom letu (log\_5) VTOL leti u istoj konfiguraciji kao i let prije. U ovom letu odlučeno je da aieleroni cijelo vrijeme budu prema dolje. Odnosno jedan prekidač na jetiju dodijelio se tome da aileroni mogu raditi normalno odnosno da aileroni budu cijelo vrijeme spušteni. Prepostavka je da spušteni aieleroni žele gurati nos prema dolje i tako pariraju činjenici da prednje krilo stvara veći uzgon. S obzirom na to da je VTOL u konfiguraciji sa spuštenim aileronima letio jako kratko (i još po vjetru) ne mogu se zaključiti neki veiliki zaključci je li to poboljšanje ili pogoršanje.

Na kraju dana vjetar je otpuhao šator te je šator zakačio VTOL i strgao mu vertikalac što znači da se VTOL trebao malo popraviti u radionici (zaljepiti popravljeni vertikalac).

* Dvadesetidrugi letački dan 24.5.2022.

U ovom letačkom danu bio je samo jedan let jer se na kraju prvog leta VTOL srušio i strgao. VTOL je letio u istoj konfiguraciji kao prošli letački dan (sa krilima i sa utezima sveukupne mase ovaj put 12 kg). VTOL je išao uzduž piste (niz vjetar, ali u rikverc nazad). Prilikom zaustavljanja iz kretanja prema naprijed postao je jako nestabilan i počeo je oscilirati. Ovaj su put oscilacije bile jače nego prijašnjih nekoliko puta prilikom kočenja. Zbog toga VTOL se nije mogao ustabiliti, niti je to uspio Tomo te je na kraju pao i strgao se. Zaključak je da je ovo bio problem tuniranja jer nije dobro tuniran. Odlučeno je da se sljedeći letački dan parametri regulatora defaultaju te se idu tunirati prema uputstvima koje je dao Cvišić, tj da se povećava D komponenta regulatora, eventualno smanjuje P komponenta (I komponenta je skoro pa i nebitna u ovoj priči